

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans Lenz)
des Instituts für klinisch-theoretische
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN ZÄHNEN DES ELASMOBRANCHIERS
CARCHARHINUS GLAUCUS (BLAUHAI)**

**EIN BEITRAG
ZUR ZUORDNUNG DER ÄUSSEREN
HARTSUBSTANZSCHICHT ZU SCHMELZ ODER DENTIN**

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Frank Ludwig
aus Berlin

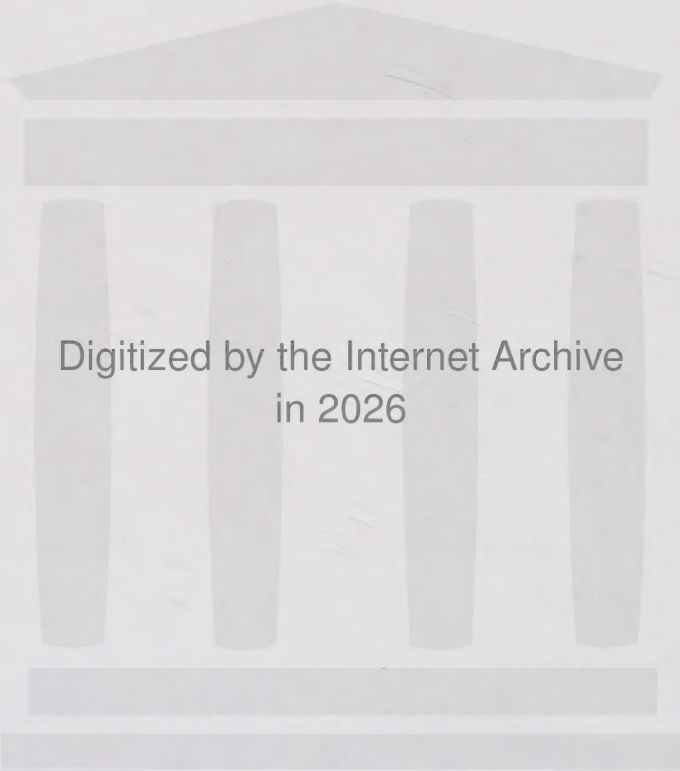
1985

Das ist die einzige Möglichkeit
für die Zukunft der Welt, die wir
den Menschen die Freiheit geben
sollen, auch die Freiheit, die
den Menschen die Freiheit, auch die Freiheit
den Menschen die Freiheit, auch die Freiheit

Das ist die einzige Möglichkeit
für die Zukunft der Welt, die wir
den Menschen die Freiheit geben
sollen, auch die Freiheit, die
den Menschen die Freiheit, auch die Freiheit

Das ist die einzige Möglichkeit
für die Zukunft der Welt, die wir
den Menschen die Freiheit geben
sollen, auch die Freiheit, die
den Menschen die Freiheit, auch die Freiheit

Das ist die einzige Möglichkeit
für die Zukunft der Welt, die wir
den Menschen die Freiheit geben
sollen, auch die Freiheit, die
den Menschen die Freiheit, auch die Freiheit



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548822_0040

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans Lenz)
des Instituts für klinisch-theoretische
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN ZÄHNEN DES ELASMOBRANCHIERS
CARCHARHINUS GLAUCUS (BLAUHAU)
EIN BEITRAG ZUR ZUORDNUNG DER
ÄUSSEREN HARTSUBSTANZSCHICHT ZU
SCHMELZ ODER DENTIN**

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Frank Ludwig
aus Berlin

Referent: Professor Dr. med. dent. Hans Lenz

Korreferent: Professor Dr. med. Hans-Joachim Merker

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 2. 7. 1985

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG.....	7
2. LITERATURÜBERSICHT.....	8
3. MATERIAL UND METHODE.....	12
3.1 Material.....	12
3.2 Methode.....	12
3.2.1 Glutaraldehyd-Osmium-Fixierung u. Einbettung zur lichtmikroskopischen und transmissionselektronenmikroskopischen Untersuchung.....	12
3.2.2 Bearbeitung der Schnitte für die lichtmikroskopische Untersuchung.....	14
3.2.3 Doppelte Einbettung und Herstellung von Ultradünnschnitten für die transmissionselektronenmikroskopische Untersuchung.....	14
3.2.4 Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung.....	15
4. ERGEBNISSE.....	17
4.1 Makroskopische Befunde.....	17
4.2 Lichtmikroskopische Befunde.....	18
4.3 Rasterelektronenmikroskopische Befunde....	19
4.4 Transmissionselektronenmikroskopische Befunde.....	20
4.5 Abbildungen.....	23
5. DISKUSSION.....	55
6. ZUSAMMENFASSUNG.....	61
7. LITERATURVERZEICHNIS.....	63

Die Kieferzähne, bzw. Zahnkronen von Teleostiern, Elasmobranchiern, Reptilien sowie auch von höheren Wirbeltieren bis zu den Säugern, weisen allesamt eine schmelzähnliche, makroskopisch glatte, glänzende, z. T. transparente Oberfläche auf, die hochmineralisiert ist.

Während diese äußere Hartschicht bei den Reptilien und allen höheren Wirbeltieren als Schmelz bezeichnet wird, erfährt sie bei den Fischen allgemein und auch speziell bei den Elasmobranchiern keine eindeutige diesbezügliche Benennung. Vielmehr ist die Frage der Zuordnung dieser Struktur zu den in Frage kommenden Hartgeweben Schmelz oder Dentin seit nunmehr über hundert Jahren Anlaß fortdauernder Kontroversen.

Ein mitentscheidender Grund für diese Klärungsschwierigkeiten ist in dem begrenzten Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops zu sehen, welches es nicht gestattet, die unterhalb dieser Grenze liegenden Strukturen zu erkennen. Erst Rasterelektronenmikroskop (REM) und Transmissionselektronenmikroskop (TEM) ermöglichen es heute durch hohe Auflösung (200 Å bei REM und 7-10 Å bei TEM im Vergleich zu ca. 2000 Å beim Lichtmikroskop) und plastische Darstellung (REM) die Ultrastruktur der Gewebe zu erkennen und ihre räumliche Anordnung zu erfassen.

Auf der Basis der Ausnutzung dieser Möglichkeiten ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, am Beispiel des Blauhaies (*Carcharhinus glaucus*) einen Beitrag zur Zuordnung der äußeren Hartschicht der Elasmobranchierzähne zu Schmelz oder Dentin zu leisten.

2. LITERATURÜBERSICHT

Die ersten Hinweise auf Untersuchungen bezüglich der Art und der Herkunft der Außenschicht von Fisch- und speziell von Elasmobranchierzähnen lassen sich bereits gegen Mitte des 19. Jahrhunderts finden. So äußert OWEN um 1845, daß Haien ektodermal abgeleiteter Schmelz fehle. Diese Meinung fand bis in die Gegenwart zahlreiche Befürworter, unter ihnen RÖSE (1898), WEIDENREICH (1926), SCHMIDT (1940), KVAM (1950), PEYER (1968) und GRADY (1971).

Die genannten Autoren sind der Ansicht, daß die hochgradig mineralisierte äußere Gewebsschicht auf den Haizähnen nicht Schmelz, sondern Dentin ist, bzw. eine Art modifizierten Dentins (GRADY 1971) und somit das Produkt mesodermaler Zellen.

Aus solchen Überlegungen heraus entwickelten sich Bezeichnungen wie Vitrodentin (u. a. RÖSE 1898) oder Durodentin (SCHMIDT) für die betreffende Hartsubstanzschicht. Dabei wurde von Vitrodentin gesprochen, wenn sie (makroskopisch und lichtmikroskopisch) glasig durchscheinend, von Durodentin, wenn sie porzellanartig undurchscheinend war.

Diese letztere Einführung und Etablierung des Begriffes Durodentin ist besonders auf W. J. SCHMIDT zurückzuführen. Er schreibt dazu: "Durch entwicklungsgeschichtliche und polarisationsoptische Untersuchungen neuerer Zeit (G. LEVI ab 1937, W. J. SCHMIDT ab 1938, KVAM ab 1946, POOLE 1956) ist sichergestellt, daß die "Kappen" oder "Hütchen" auf der Spitze von Fischzähnen und auch ihre Fortsetzung als "Kappen" auf den Zahnhals - alles früher vielfach für Schmelz gehalten - aus einer Abart des Dentins, Durodentin (W. J. SCHMIDT 1940) bestehen, die durch den Verlust von Kollagen ausgezeichnet ist; dieses wird in der Frühentwicklung des Zahnes angelegt, und zugleich tritt starke Verkalkung ein, so daß das fertige Durodentin aus den Erdsalzen und einer gewissen Menge nichtkollagener organischer Substanzen besteht. Echter Schmelz fehlt den Fischen durchweg."

W. J. SCHMIDT gelangte zu diesem Ergebnis aufgrund seiner polarisationsoptischen Untersuchungen, aus denen er deutete, daß die kristallinen Strukturen oberflächlich parallel verliefen. Die Annahme, daß diese Strukturen nicht, wie beim menschlichen Schmelz bekannt, senkrecht zur Hartsubstanzoberfläche verliefen, sondern parallel zu dieser, war einer der Gründe, die SCHMIDT diesbezüglich zu dem Begriff Durodentin führten.

Wie schon eingangs erwähnt, waren derartige Deutungen aber zu keiner Zeit unangefochten. So vertraten unter anderen LISON (1940) und MOSS (1970) die Auffassung HERTWIG's (1874), daß die harte äußere Kappe von Haizähnen und auch denen einiger anderer Fische wahrer Schmelz sein, wie bei den Säugern vom Ektoderm abgeleitet. (MOSS schließt dies aus einer mikroskopischen Analyse der Zelldifferenzierung der Ameloblasten bei einem Selachier und einem Teleostier.) Neben diesen eindeutigen Zuordnungen zu Schmelz oder Dentin (und somit einem Produkt ausschließlich ektodermaler, bzw. mesodermaler Herkunft) ist schließlich noch eine dritte zu nennen und zwar die mit dem Begriff Enameloid verbundene. Bereits 1930 äußerte THOMASSET, daß sowohl Ektoderm als auch Mesoderm Komponenten zum Haizahnschmelz beisteuern könnten, dieser folglich weder Schmelz noch Dentin eindeutig zuzuordnen sei, sondern aus beiden Keimblättern gebildet würde.

Aus dieser Überlegung heraus, der sich LISON (1949), KERR (1950) und POOLE (1967) anschlossen, schlug letzterer zusammen mit ØRVIG (1967) die Anwendung des Ausdruckes Enameloid als "nichtspezifische Bezeichnung des Charakters der Zahnkappe bei Vertebraten unterhalb der Reptilien" vor.

Diese Auffassung von der sowohl mesodermalen als auch ektodermalen Herkunft des untersuchten Hartgewebes leitete man daraus ab, daß neben Kristalliten, bzw. Kristallitenbündeln, die sowohl parallel als auch senkrecht zur Zahnoberfläche orientiert und deren Größe typisch für Schmelz sind,

auch Strukturen in der äußeren Hartschicht von Haizähnen gefunden wurden, denen man mesodermalen Ursprung zuschrieb. So beschrieben RIPA et al. 1972, daß das Enameloid dadurch charakterisiert sei, daß in seinem dentin-nahen Bereich fibröse und cytoplasmatische Einschlüsse, die sich von den Dentinkanälen ausbreiteten, vorhanden seien. Auch KVAM (u. a. 1946, 1950, 1953) greift den Aspekt der Zusammensetzung der äußeren Hartschicht von Fischzähnen aus Mesoderm und Ektoderm auf. Er spricht dabei nicht von Enameloid, sondern von der Existenz zweier Schmelztypen. Den mesodermalen Schmelz der Fisch- und Amphibienzähne stellt er dem ektodermalen Schmelz der Reptilien- und Säugerzähne gegenüber.

Mesodermaler Schmelz sei das Produkt von beidem, Mesoderm und Ektoderm, wobei die organische Grundlage der Hartschicht mesodermalen Ursprungs sei, seine Kalzifikation dagegen auf die Aktivität ektodermaler Strukturen (Säulenepithel) des Zahnkeimes zurückzuführen sei.

KVAM hebt hervor, daß mesodermaler Schmelz aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften und seiner Kalzifikation dem ektodermalen Schmelz höherer Ordnung ähnlich und damit klar vom Dentin zu differenzieren sei, welches neben der Kalzifikation auch die Bildung seiner organischen Matrix durch die Zahnpapille erführe.

Den ektodermalen Schmelz betrachtet er schließlich als eine Weiterentwicklung des mesodermalen, wobei der Unterschied zwischen beiden darin bestünde, daß beim ektodermalen Schmelz auch die organische Grundlage ektodermalen Ursprungs sei.

Die hiermit zusammengetragenen Standpunkte über die Natur der äußeren Hartschicht von Haifischzähnen stellen nur einen Auszug eines relativ breiten Spektrums z. T. sehr gegensätzlicher Anschauungen dar. Diese Meinungsvielfalt mag auf den ersten Blick verwundern. Bei der Bewertung der Ergebnisse muß man jedoch die Zeit ihrer Entstehung berück-

sichtigen, genauer gesagt die jeweils zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten. So verfügte man bis in die vierziger Jahre unseres Jahrhunderts im Rahmen histologischer Untersuchungen nur über das Lichtmikroskop, dessen Auflösungsvermögen von max. 2000 Å noch keine konkreten Rückschlüsse auf die Grundbausteine der betrachteten Präparate zuließ.

Zwar wurde das Bild vom Aufbau der Zahnhartgewebe durch polarisationsoptische Analysen von Dünnschliffen (im Falle der Fischzähne hauptsächlich W. J. SCHMIDT seit 1923), einer Variante der Lichtmikroskopie, sowie röntgenstrukturanalytischen Untersuchungen beträchtlich erweitert, aber erst das Elektronenmikroskop verfügt über ein Auflösungsvermögen, welches einen Einblick in die Ultrastruktur der Gewebe ermöglicht.

Hiermit besteht nun die Möglichkeit, die Zahnhartgewebe aufgrund ihrer kristallinen Zusammensetzungen klar voneinander abzugrenzen. Auf dieser Basis, nämlich der Betrachtung der Form, Größe und Anordnung der Kristallite und Kristallitenbündel, die den anorganischen Anteil der Zahnhartsubstanzen ausmachen, ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, die äußere Hartsubstanzschicht von Haifischzähnen am Beispiel des Blauhaies einer klaren Zuordnung zuzuführen und damit einen Beitrag zur Beseitigung diesbezüglicher Unstimmigkeiten zu leisten.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1 MATERIAL

Untersucht wurden Oberkieferzähne eines ausgewachsenen Blauhaies, die dazu aus einem Oberkiefersegment herausgelöst wurden. Die Zähne hatten allesamt annähernd die Form gleichseitiger Dreiecke, waren dabei in vestibulooraler Richtung abgeflacht und bildeten nach mesial und distal vielfach gezackte, sägenartige Schneidekanten aus. Der hartsubstanzbedeckte Anteil machte ca. $3/4$ der Zahnlänge aus, die Zahnbasis $1/4$.

3.2 METHODE

3.2.1 Fixierung in Glutaraldehyd und Osmium sowie Einbettung zur lichtmikroskopischen und transmissionselektronenmikroskopischen Untersuchung:

Die aus dem Kieferstück herausgelösten Zähne wurden zur Fixierung für 1-2 Tage in 5%-ige phosphatgepufferte Glutaraldehydlösung gelegt; die folgenden Arbeitsgänge zur Einbettung in Mikropal waren:

- Auswaschen der Fixierlösung mit physiologischer Kochsalzlösung für ca. 5 min
- Überführen in ein Phosphatpuffergemisch mit pH 7,2 - 7,4 für mindestens 18 Stunden
- Fixierung für 2 Stunden in OsO_4 (Doppelfixierung zur e-Strahl-Stabilität)
- Auswaschen der Schwermetalle mit physiologischer Kochsalzlösung

- Durchlaufen einer aufsteigenden Alkoholreihe zur Entwässerung:

- 5 min in 50%-igem Alkohol
 - 5 min in 75%-igem Alkohol
 - 5 min in 95%-igem Alkohol
 - 2 x 10 min in absolutem Alkohol
 - 1 x 30 min in absolutem Alkohol

- Einbringen in Styrol, das als Intermedium dient, da sich Mikropal nicht mit Alkohol mischt und zwar 3 x 30 min
- Überführen der Präparate in ein Mikropal-Styrol-Gemisch (1:1) für 1 Stunde
- Einbringen in (reines) Mikropal für 24 Stunden bei Zimmertemperatur
- danach wurden die Präparate jeweils in einzelne blockförmige Kunststoffbehälter gegeben und diese mit Mikropal (Katalysator und Aktivator) gefüllt.
- Polymerisation für ca. 24 Stunden bei 60°C im Trockenschrank

Im folgenden wurden die Mikropalblöcke mit Hilfe einer Schneidemaschine der Firma Dr. Steeg u. Reuter in Schnitte von ca. 0,8 mm Dicke zerlegt und zwar der Art, daß sagittale Längsschnitte und Transversalschnitte der Präparate entstanden.

Diese wurden wie folgt für lichtmikroskopische (LM), bzw. transmissionselektronenmikroskopische (TEM) Betrachtungen vorbereitet:

3.1.2 Bestimmung der Größe der für TEM-Untersuchung:

Zunächst wurden die für mikroskopische Untersuchungen noch zu großen Schnitte mit Sandpapier abwechselnd Körnergröße unter Wasserfeuertung dünner geschliffen (auf ca. 0,1 mm Stärke) und anschließend mit Schlammkreide poliert.

Für die Einbettung auf dem Objekttäger (Glasplatten) wurde folgendes Schema verwendet:

- Durchlaufen einer aufsteigenden Alkoholreihe zur Entwässerung:

- 5 min in 74-100% Alkohol
- 5 min in 74-100% Alkohol
- 5 min in 96-100% Alkohol
- 5 min in reinem Alkohol

- Aufteilen der Schnitte in einen Xylol-Wintergrün-Block

- Einbringen in Xylol als Intermedium (für 5 min)

- Einbetten der Schnitte auf den Trägers mit Entellan und Abdeckung mit dünnen Glasplättchen

Die so hergestellten Blöcke wurden auf einem Mikroskop der Firma Zeiss (Ortholux) betrachtet und fotografiert unter Verwendung von Panatomic-X-Filmmaterial.

3.1.3 Doppelte Einbettung und Herstellung von Ultradünnschnitten für die TEM-Untersuchung:

Weitere mit Sandpapier und Schlammkreide bearbeitete Schnitte wurden in eine zweite Einbettung in Entellan gefüllte Gelatinekapseln. In dieser Einbettung wurden die

Scheiben so zurechtgeschnitten, daß sie in die Gelatine-kapseln paßten. Letztere wurden mit Mikropal (Katalysator und Aktivator) aufgefüllt und wie oben beschrieben polymere-siert.

Danach konnten die Gelatine-kapseln entfernt und das in Mikropal eingebettete Präparat in eine hierfür vorgesehene Halterung eines Trimmgerätes der Firma C. Reichert, Typ TM 60, eingespannt werden.

Beim Anspitzen (Trimmen) des Objektes war darauf zu achten, daß der zu untersuchende Präparatbezirk möglichst genau in die Spitze einer vierseitigen Pyramide gelegt wurde.

Die solchermaßen vorbereiteten Objekte wurden zur Herstel-lung der Ultradünnschnitte in ein Ultramikrotom (Ultracut der Firma Reichert) eingespannt. Die Schnitte von 600-700 Å Dicke konnten mit formvarbefilmten Kupfernetzen von ca. 3 mm Durchmesser aufgefangen und darauf schließlich zur Be-trachtung ins TEM eingeführt werden.

Die TEM-Untersuchungen erfolgten mit einem Elmiskop IA der Firma Siemens und Halske AG bei einer Strahlspannung von 80 kV.

3.2.4 Rasterelektronenmikroskopische (REM) Unters- chung:

Hierzu wurden ganze Bruchstücke der Haifischzähne teils unbehandelt, teils speziell vorbehandelt, mit Leit-C auf einem dafür vorgesehenen Objektträger befestigt und in einem Bedampfungsgerät mit Gold bedampft. Dies diente zur Herstellung der elektrischen Leitfähigkeit der Präparate. Die erwähnten Vorbehandlungen bestanden entweder aus einem Ätzen der Präparatoberfläche oder einem Entkollagenisie-ren der Präparate.

Zum Ätztvorgang:

Hierzu wurde das Präparat (Zahnbruchstück) 1 min lang einer 35%-igen Phosphorsäure ausgesetzt und danach unter fließendem Wasser abgespült sowie an der Luft getrocknet.

Entfernung der organischen Bestandteile:

Zur Herstellung kollagenfreier Präparate (nach W. J. SCHMIDT 1933) wurde wie folgt verfahren:

- Kochen des Objektes für 3-5 min in Glycerinkalilauge (90 mg Kaliumhydroxid auf 3-4 ccm Glycerin)
- Auskochen in dest. Wasser (Entfernung der Glycerinkalilauge)
- Entwässerung in Xylol
- Lufttrocknung

Die REM-Untersuchungen erfolgten mit einem Gerät des Typs Stereoscan 150 der Firma Cambridge bei einer Strahlspannung von 10 bzw. 20 kV.

4. ERGEBNISSE

4.1 Makroskopische Befunde:

Das Haifischgebiß weist sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer mehrere hintereinandergelegene Zahnreihen auf. Von diesen befindet sich jeweils nur die zuvorderst gelegene in Gebrauch. Sie steht mit aufrecht orientierten Zähnen am Vorderrand des Kieferkammes, während die nachfolgenden Zahnreihen einander überlappend senkrecht dazu flach im Kiefer plazierte, unter der Schleimhaut aber nicht zu sehen sind.

Jeder Zahn ist dreieckig und abgeflacht und läßt innerhalb seiner beiden Schneidekanten zahlreiche kleine Einzelzacken erkennen (Abb. 2). Dabei haben die Oberkieferzähne mehr oder weniger die Form gleichseitiger Dreiecke, die Unterkieferzähne dagegen sind eher speerspitzenförmig gebaut (Abb. 1).

Ohne optische Hilfsmittel betrachtet, erscheint die äußere Hartsubstanzbedeckung der untersuchten Haifischzähne schmelz- oder emailleartig, d. h. glatt, glänzend und milchig weiß. Nur im Bereich der Einzelzacken der beiden Schneidekanten läßt sich eine Zone der Transparenz ausmachen, die sich zur Zahnmitte hin rasch verliert.

Das nicht von dieser hochmineralisierten Hartsubstanz bedeckte Basis-Viertel des Zahnes erinnert in seinem Aussehen an Knochenmaterial.

An einer Bruchkante sind von der Pulpa zur Außenfläche des Zahnes hin mit bloßem Auge keine Struktur- oder Farbunterschiede im Sinne einer Unterteilung der Hartsubstanz in Schmelz und Dentin zu erkennen.

4.2 Lichtmikroskopische Befunde

Bei lichtmikroskopischer Betrachtung mittlerer Vergrößerung lassen bereits die Übersichtsaufnahmen eines mesiosagittalen Dünnschliffes sowie eines Transversalschliffes (beide im Bereich von Einzelzacken der Schneidekante) den Zahnaufbau sichtbar werden.

Im Sagittalschliff sind neben der Pulpa zwei sowohl durch ihre Helligkeit als auch durch ihre Struktur voneinander differenzierbare Hartsubstanzschichtungen zu sehen (Abb. 3, 4). Die pulpennahe, hellere Substanz weist Kanälchen auf, die leicht gewellt senkrecht zur Zahnoberfläche verlaufen. Es handelt sich um Dentin.

Die oberflächennahe, dunklere, im folgenden als Schmelz bezeichnete, Schicht läßt in sich eine Zweiteilung erkennen. Dem dentinnahen Anteil, der etwa zwei Drittel der Substanzdicke ausmacht und strukturell relativ ungeordnet erscheint, schließt sich nach außen hin ein etwas schmalerer Saum mit senkrecht zur Oberfläche stehenden kristallitenförmigen Strukturen an (Abb. 5, 6). Diese scheinen parallel zueinander zu verlaufen, sind dicht gepackt und ergeben somit einen Eindruck größerer Ordnung, als dies bei der direkt darunterliegenden Hartgewebemasse der Fall ist. Gelegentlich sind außer den senkrecht verlaufenden auch oberflächenparallele Strukturen erkennbar.

Der Transversalschnitt bestätigt diese Aussagen. Auch hier läßt die Übersichtsaufnahme über die gesamte Breite der Hartsubstanzmasse den mehrschichtigen Aufbau erkennen. Im in diesem Fall dunkler erscheinenden Dentin (Abb. 7) sind deutlich erkennbar Dentinkanäle vorhanden (siehe hierzu auch die Abb. 8, 9).

An einigen Stellen weist der Schliff Bruchstellen an der Oberfläche auf, die im Bereich der zueinander parallel angeordneten kristallitenartigen Strukturen liegen (Abb. 10). Diese sind hier parallel zur Zahnoberfläche in unterschiedlichen Höhen abgebrochen. Hierdurch wird der Eindruck

der Kristallitenform dieser Strukturen noch deutlicher. Genauere Aussagen über einen eventuell vorhandenen mikrokristallinen Aufbau der äußeren Hartschicht lassen sich lichtmikroskopisch aber nicht machen. Allenfalls ließe sich die Orientierung der Kristalle durch polarisations-optische Methoden darstellen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die als kristallitenartige Strukturen bezeichneten Teile, von denen bei den lichtmikroskopischen Befunden die Rede ist, nicht gleichzusetzen sind mit den kristallinen Bestandteilen der Ultrastruktur der Hartgewebe, wie sie beim ultrastrukturellen Transmissionsbild zu Tage treten. Diese sind erst bei viel höheren Auflösungen sichtbar (REM, TEM).

4.3 Rasterelektronenmikroskopische Befunde:

Die Übersicht über eine Bruchfläche direkt unterhalb einer Einzelzacke der Schneidekante eines Haizahnes zeigt einen Ausschnitt des Pulpenkavums, allseitig von Hartschicht umgeben (Abb. 11). Bei etwas stärkerer Vergrößerung lassen sich pulpal deutlich Dentinkanälchen erkennen (Abb. 12), während an der Bruchkante der Hartschichtoberfläche zu dieser parallel verlaufende Kristallite zu sehen sind (Abb. 13, 14).

Weitere Brüche lassen erkennen, daß neben den oberflächenparallelen Kristalliten darunter auch ebensolche senkrecht zur Außenfläche des Zahnes verlaufend existieren. Die Kristallite sind zu Bündeln zusammengefaßt und überlappen einander schichtweise, bzw. durchdringen sich dreidimensional (Abb. 15-18).

Es fällt weiterhin auf, daß sich der schon lichtmikroskopisch festgestellte Übergang der geordneten Kristallitenbündel zur weniger geordneten darunterliegenden Hauptmasse der äußeren Hartschicht, bzw. zum Dentin rasterelektronenmikroskopisch nicht nur bestätigen, sondern noch

besser erkennen läßt (Abb. 19).

Einige Aufnahmen scheinen den Eindruck zu vermitteln, daß zwischen den zueinander parallel verlaufenden Kristallitenbündeln kanalartig erscheinende Strukturen vorliegen könnten (Abb. 20). Stärkere Vergrößerungen (Abb. 21) machen aber deutlich, daß dieser Eindruck nicht bestätigt werden kann und es sich hierbei vielmehr um Zwischenräume zwischen (den) einzelnen Kristallitenbündeln handelt. Dieses ist besonders beim Vergleich mit Dentinkanälchen desselben Präparates zu erkennen (Abb. 22). Hier ist klar der röhrenförmige Aufbau eines (Dentin)kanals ersichtlich, was bei obigen Strukturen nicht der Fall ist.

Weiterhin wird anhand eines Bruches in sagittaler Richtung deutlich, daß die oberflächenparallelen Anteile der Kristallitenbündel im Bereich der Spitze der Einzelzacken beim Übergang der einen Seite der Zahnaußenfläche zur anderen nicht streng oberflächenparallel bleiben. Sie sind vielmehr kurvenförmig gepackt, treffen also am Grat der Schneidekante nicht spitzwinklig aufeinander.

Von der äußeren Hartschicht, die durch den Bau eines dreidimensional verwobenen Kristallitenbündelsystems ausgezeichnet ist, ist klar das Dentin abzugrenzen. Es weist charakteristische Dentinkanälchen auf, die von pulpal betrachtet im Querschnitt zu sehen sind (Abb. 23 und vgl. Abb. 12), bzw. im Bereich der Schneidekante eines Zahnes am Übergang von einer Pulpenwand zur anderen auch im Längsschnitt getroffen sind (vgl. Abb. 22).

4.4 Transmissionselektronenmikroskopische Befunde:

Diese Untersuchung dient zur Darstellung der einzelnen Kristallite in den Hartschichten mit dem Ziel, aus deren Ultrastrukturen heraus eine Zuordnung durchzuführen. So lassen sich deutlich die nadelförmigen Kristallite im Dentin erkennen, die zu ineinander verwobenen, "gewellten"

Büscheln zusammengefaßt sind, was zum charakteristischen Aussehen des Dentins führt. Dieses stellt sich hierbei ähnlich wie beim menschlichen Dentin in zwei Formen dar. Zum einen ist ein faseriger, zum anderen ein wie "onduliert" erscheinender Aufbau der Büschel zu beobachten (Abb. 24, 25). Beide Varianten existieren dabei nicht räumlich voneinander getrennt, sondern liegen gemischt vor.

Im Gegensatz dazu stehen die um etwa eine Zehnerpotenz größeren schmelztypischen Kristallite der äußeren Hartsubstanzschicht, die in einem Schnitt sowohl längs- als auch quergetroffen vorzufinden sind (Abb. 26, 27). Die Größe dieser Kristallite bewegt sich zwischen 0,05 und 0,5 μm im Querschnitt, bzw. 0,3 und 0,8 μm in der Länge.

ABBILDUNGEN

Weiterhin fällt auf, daß letztere Kristallite nicht nur in der Größe, sondern auch in der Querschnittsform stark variieren. Sie sind quadratisch bis unregelmäßig vieleckig (Abb. 28).

Umseitig folgend siehe Abbildungen 1-28:

4.5 ABBILDUNGEN:

Abb. 1 Gebiß eines Blauhaies mit annähernd gleichseitig
dreieckigen Zähnen im Ober- und speerspitzenartig
geformten Zähnen im Unterkiefer

Abb. 2 Übersicht über die Einzelzacken einer Schneidekante
des Haifischzahnes;
REM, Vergrößerung 36 x

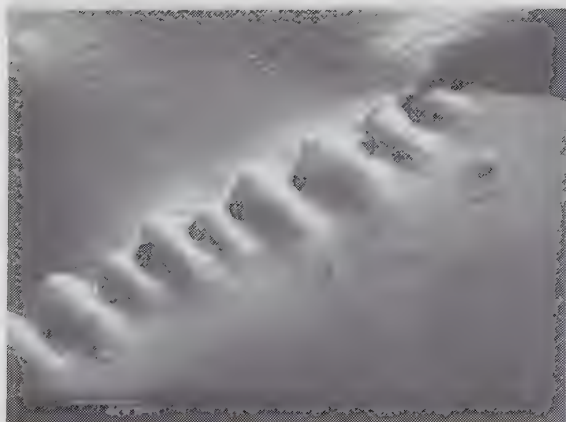
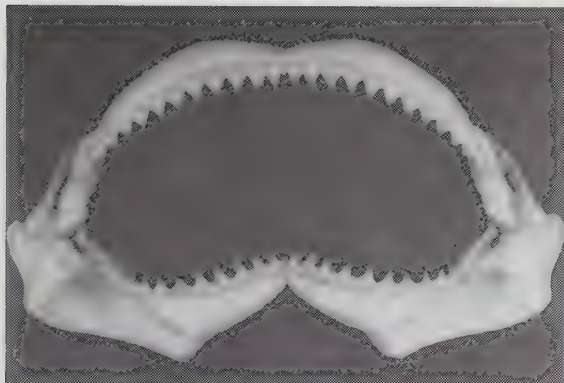


Abb. 3 Übersicht über die Spitze eines Mediansagittalschnittes eines Haizahnes; Schmelz und Dentin stellen sich in unterschiedlicher Helligkeit voneinander abgegrenzt dar, die Pulpa ist nicht erfaßt;
LM, 100 x

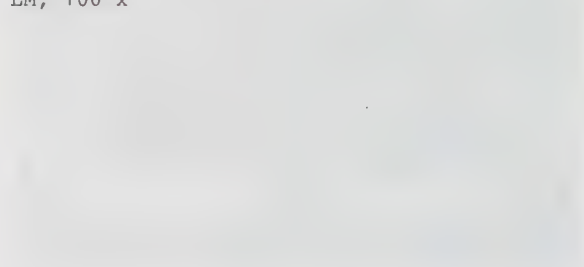
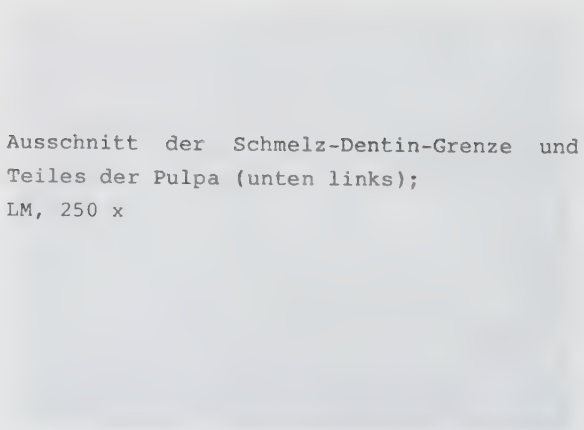
A light micrograph showing a cross-section of a shark tooth. The image displays a clear boundary between the highly reflective, translucent enamel (Schmelz) and the darker, more opaque dentin (Dentin). The pulp space (Pulpa) is not visible in this section. The overall structure is roughly oval-shaped with a slightly irregular surface.

Abb. 4 Ausschnitt der Schmelz-Dentin-Grenze und eines Teiles der Pulpa (unten links);
LM, 250 x

A higher magnification light micrograph focusing on the junction between the enamel and dentin. The enamel appears as a bright, crystalline layer, while the dentin is darker. In the lower-left corner, a portion of the pulp space is visible, appearing as a lighter, less structured area. The boundary between the enamel and dentin is clearly defined.

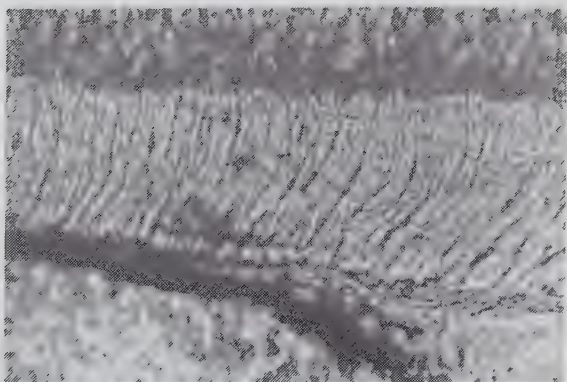
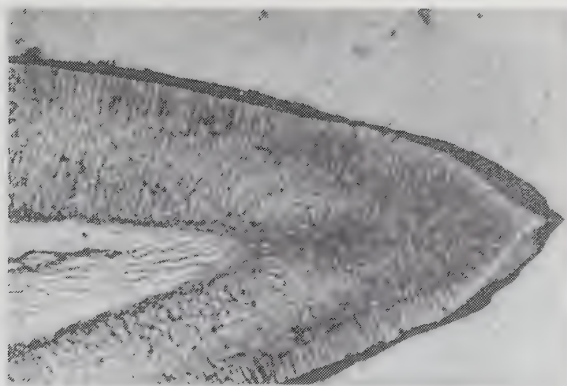


Abb. 5 Zahnoberfläche mit Schmelz, der zwei Schichtungen erkennen läßt: dem dentinnahmen, relativ ungeordnet erscheinenden Anteil schließen sich zur Zahnoberfläche hin geordnetere kristallitenartige Strukturen an;
LM, 250 x

Abb. 6 dito;
LM, 450 x

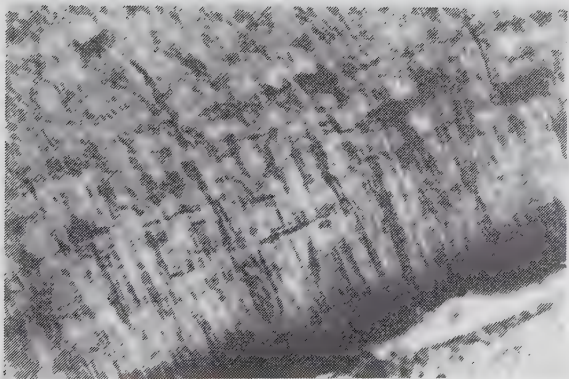
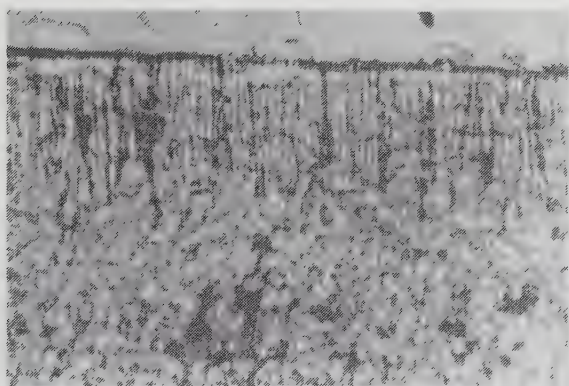


Abb. 7 Übersicht über eine Einzelzacke der Schneidekante
mit Schmelz-Dentin-Grenze;
LM, 100 x

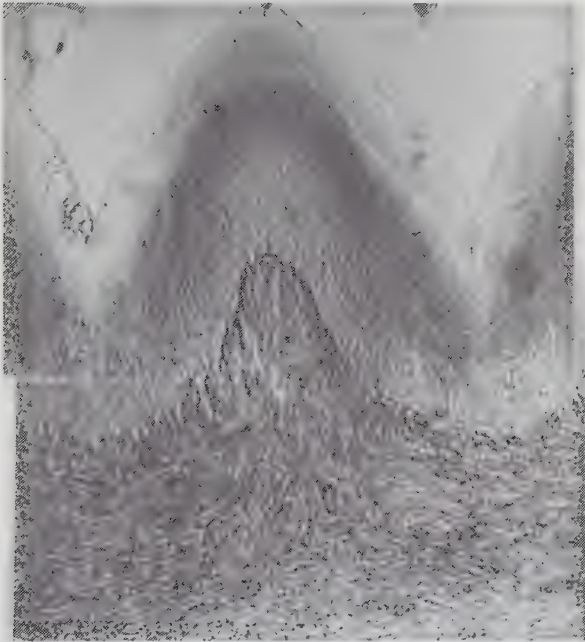


Abb. 8 Übersicht über die Schmelz-Dentin-Grenze mit Dentinkanälchen in der linken Bildhälfte;
LM, 100 x

Abb. 9 dito; - Dentinkanälchen
LM, 250 x

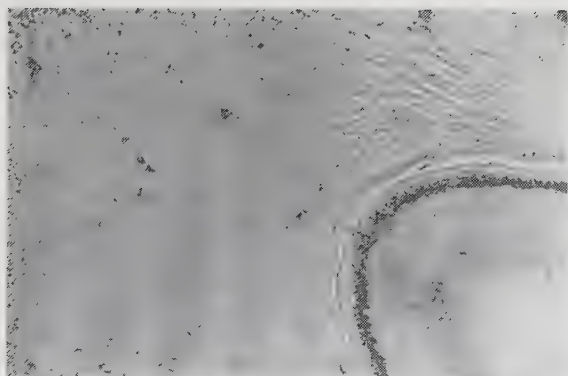


Abb. 10 Schmelz mit Kristallitenbündeln, die quer zu ihrer Längsachse an der Zahnoberfläche gebrochen sind;
LM, 100 x

Abb. 11 Übersicht über ein Zahnbruchstück direkt unterhalb einer Einzelzacke der Schneidekante; Schmelz, Dentin und Pulpenkavum sind zu sehen;
REM, 130 x

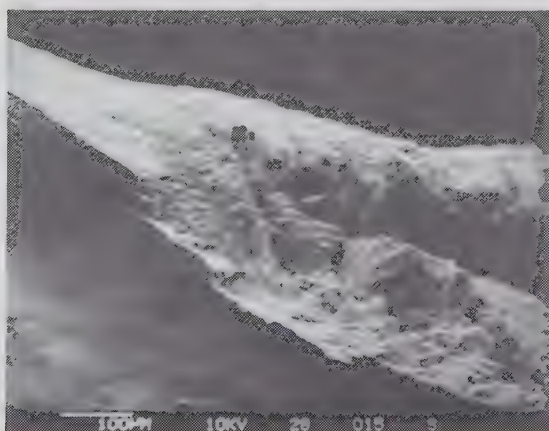
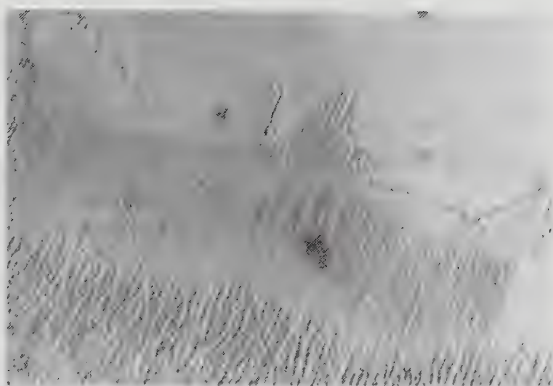


Abb. 12 Dentin von pulpal mit Dentinkanälchen; daneben Artefaktstrukturen durch nachträglich aufgelagerte Mikroorganismen

Abb. 13 Kristallitenbündel an der Außenkante des Bruchstückes, parallel zur Zahnoberfläche verlaufend; REM, 1300 x

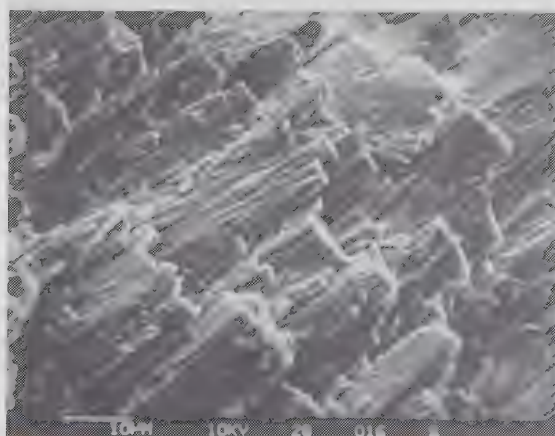


Abb. 14 Schmelzkristallite oberflächenparallele an der Bruchkante; im Hintergrund: Dentin der Gegenseite von pulpal;
REM, 140 x

Abb. 15 dreidimensional verwobene Kristallitenbündel oberflächennah an der Außenkante einer Bruchfläche;
REM, 1400 x

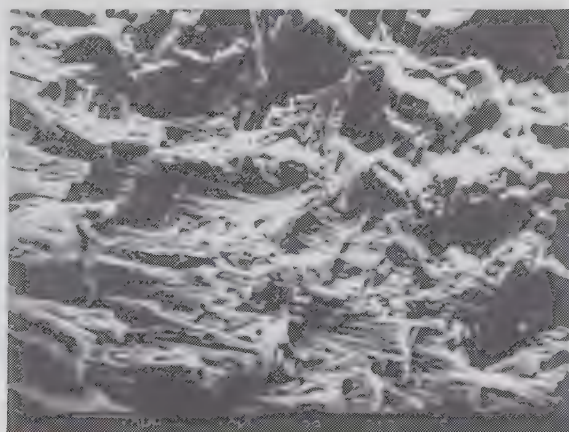
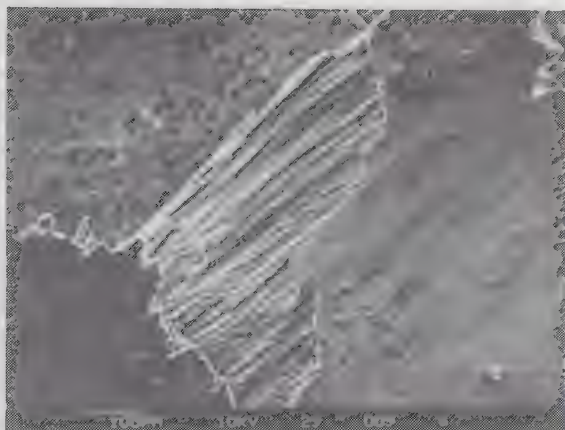


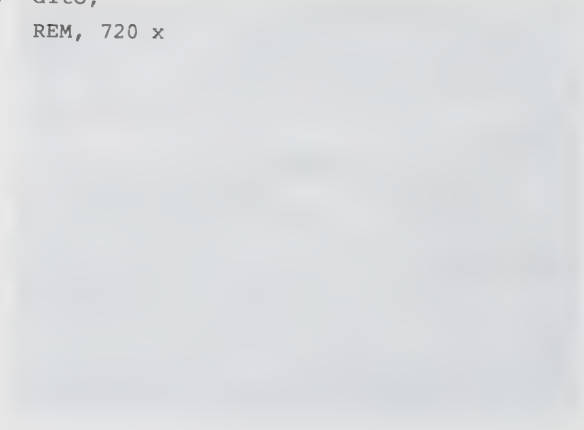
Abb. 16 dito;

REM, 1460 x



Abb. 17 dito;

REM, 720 x



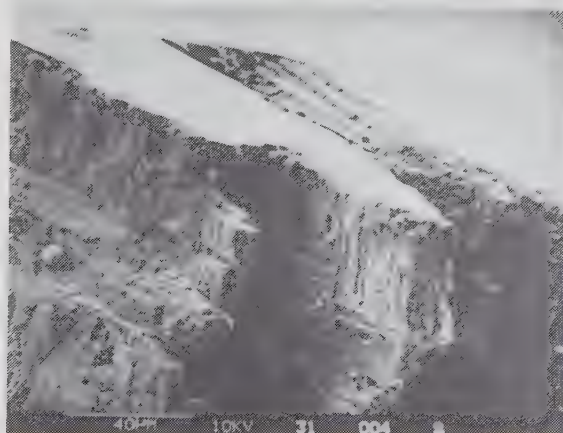
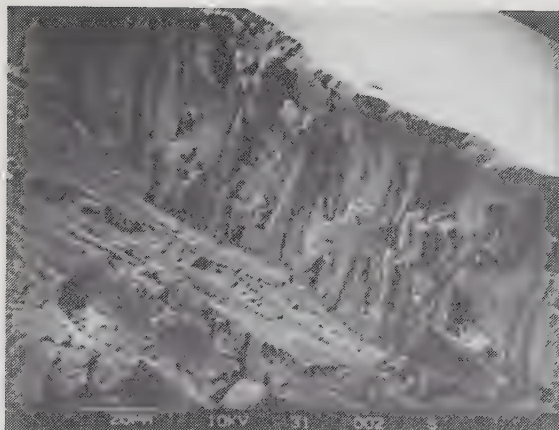


Abb. 18 dito;
REM, 1230 x

Abb. 19 Schmelz-Dentin-Grenze;
REM, 760 x

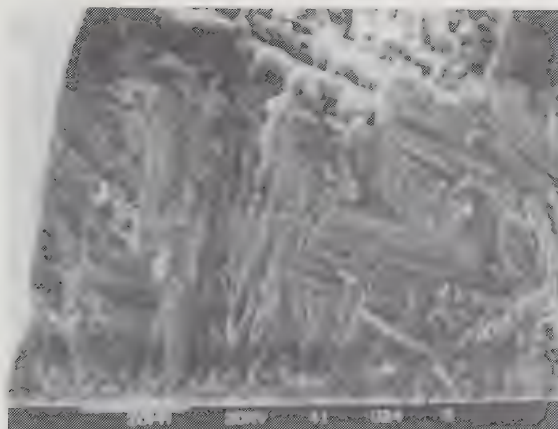


Abb. 20 kanalartig erscheinende Strukturen innerhalb der
Kristallitenmasse;
REM, 3800 x

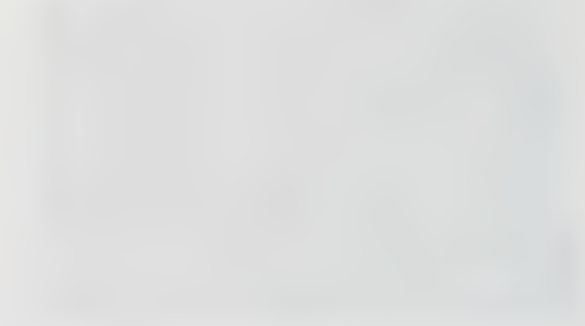
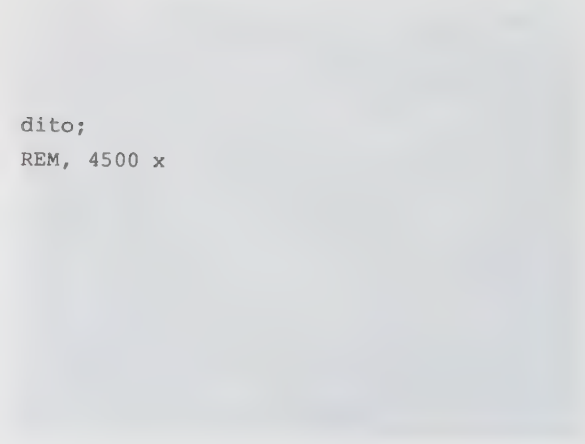
A scanning electron micrograph (REM) showing a dense, granular crystalline mass. Within this mass, there are several elongated, canal-like structures that appear as darker, more linear features against the lighter, textured background of the crystal grains.

Abb. 21 dito;
REM, 4500 x

A higher magnification scanning electron micrograph (REM) of the same or similar material. The crystalline texture is more pronounced, and the canal-like structures are more clearly visible as distinct, elongated features within the grain boundaries or interiors.

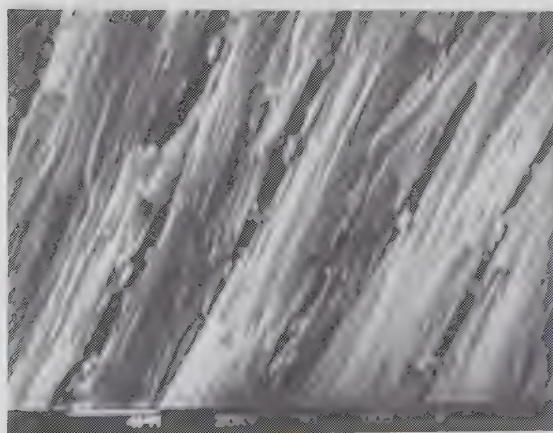
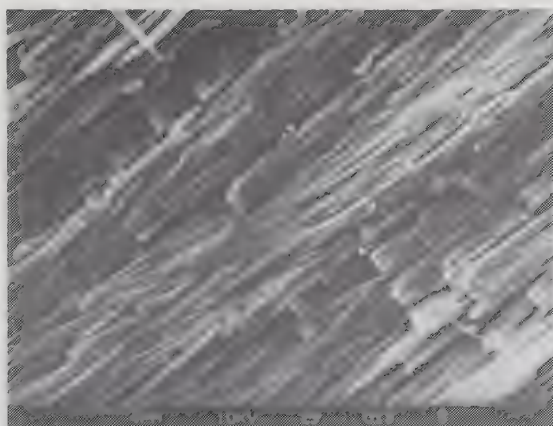


Abb. 22 Dentinkanäle von pulpal an der Stelle, an der die
eine Pulpenwand in die Spitze zur gegenüberliegenden
Pulpenwand übergeht;
REM, 350 x

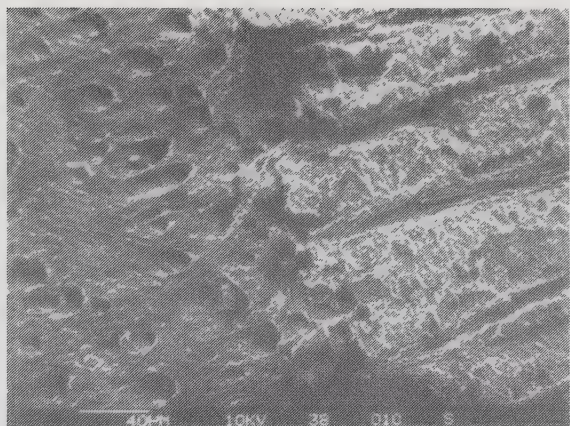


Abb. 23 Dentinkanäle;
REM, 2400 x

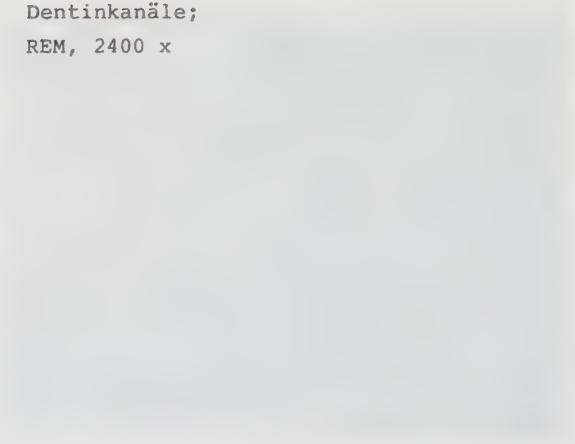


Abb. 24 Dentin mit faserigen Kristallitenbüscheln
TEM, 20000 x

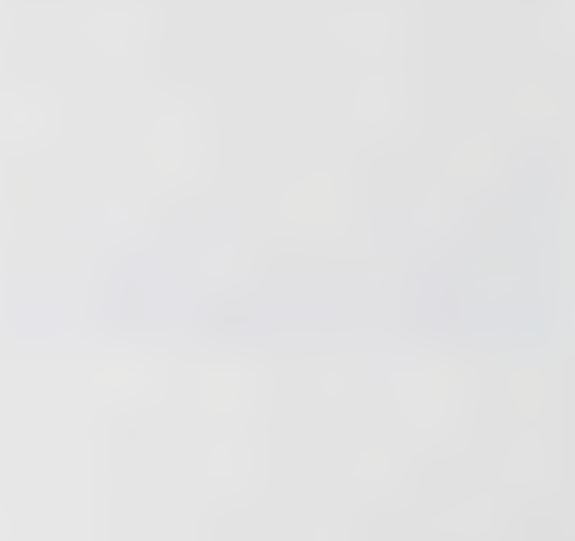




Abb. 25 Dentin mit onduliert erscheinenden Kristallitenbündeln;

TEM, 41000 x

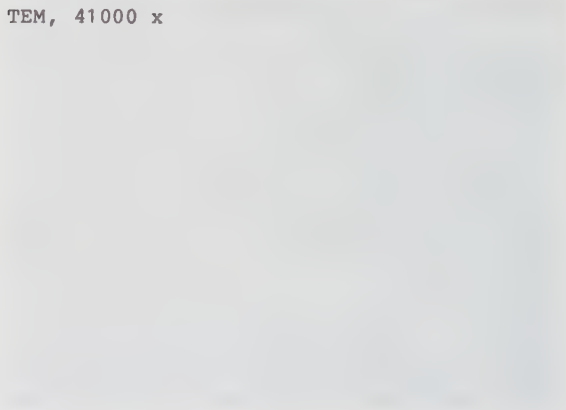


Abb. 26 quer und längs getroffene Schmelzkristallite

TEM, 32000 x



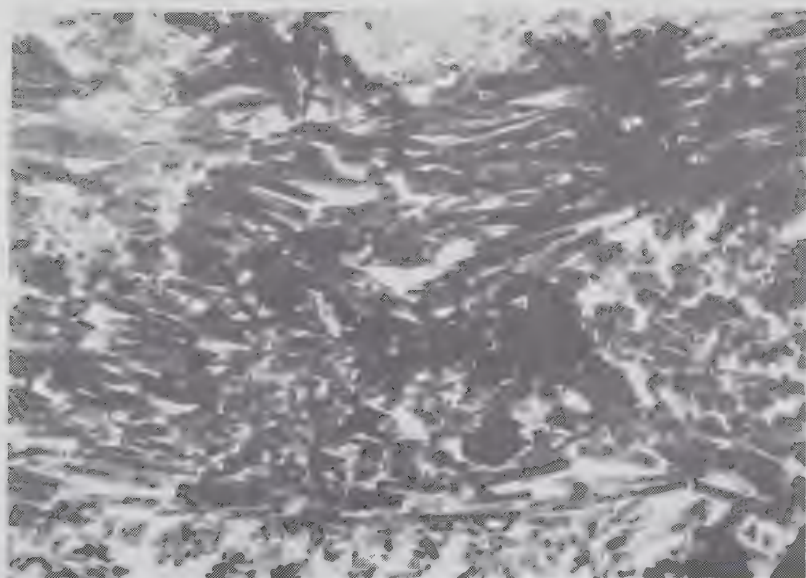


Abb. 27 dito;

TEM, 44000 x

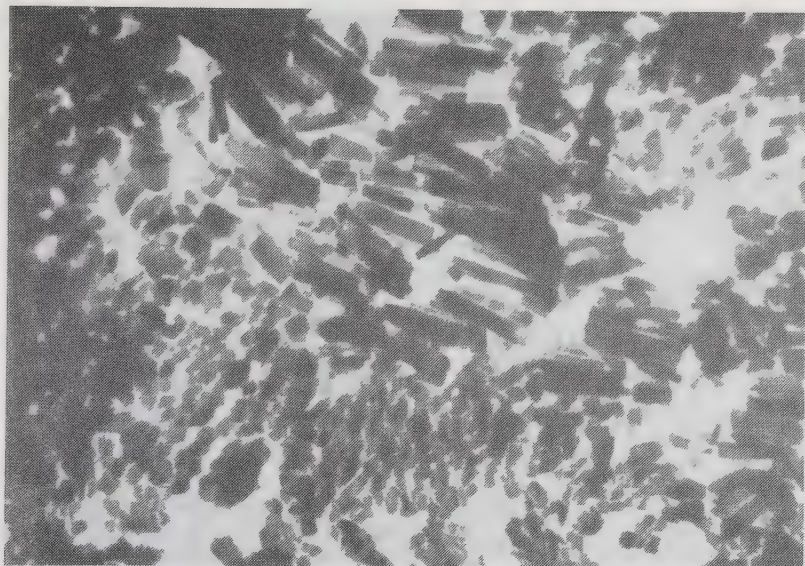
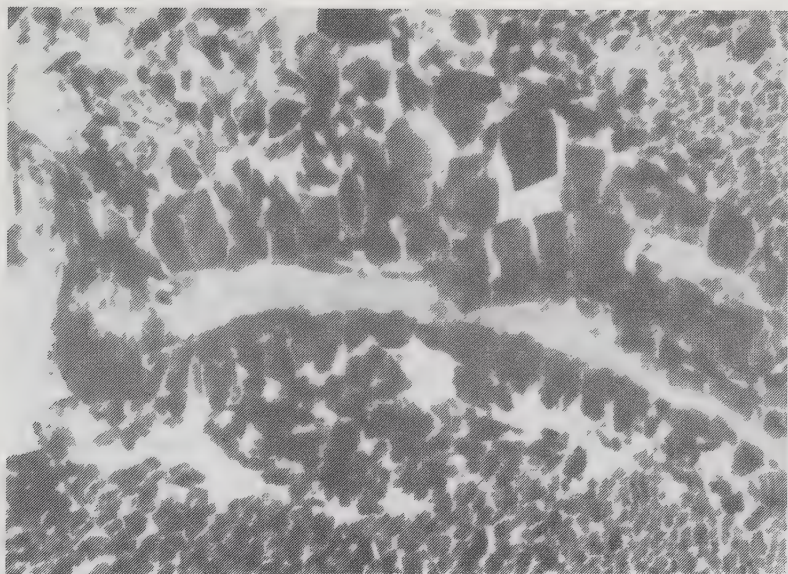


Abb. 28 Schmelzkristallite unterschiedlicher Quer-
schnittsform;
TEM, 32000 x





5. DISKUSSION

Nachdem makroskopische und lichtmikroskopische Untersuchungen die Oberfläche bzw. die äußere Hartschicht von Haifischzähnen mehr oder weniger homogen erscheinen ließen und keine genaueren Aussagen über ihren Aufbau möglich waren, ermöglichen Rasterelektronenmikroskop und Transmissionselektronenmikroskop weiterreichende Aussagen.

So lassen das REM durch seine plastische Darstellungsmöglichkeit, die bei der lichtmikroskopischen Betrachtung von Serienschnitten nicht gegeben ist, und das TEM durch sein hohes Auflösungsvermögen in der untersuchten Hartschicht Apatitkristalle auffallender Größe erkennen. Diese sind oberflächennah sowohl senkrecht, als auch parallel zur Zahnoberfläche orientiert und zu Bündeln zusammengefaßt, die sich gegenseitig überlappen, bzw. sich dreidimensional durchdringen. Mit zunehmender Dentinnähe geht dieser Ordnungszustand mehr und mehr verloren (siehe Abb. 21).

Kristallitengröße und auch -orientierung erlauben es, diese Substanz klar von den Dentinstrukturen desselben Präparates abzugrenzen (siehe direkten Vergleich im Bereich der Schmelz-Dentin-Verbindungsregion) und von ihr als wahren Schmelz und nicht nur schmelzähnlicher Substanz (Enameloid) zu sprechen.

Diese Aussagen bedürfen einiger Erklärungen. Beide Hartschichten, Schmelz und Dentin, sind das Ergebnis der Mineralisation organischer Matrices, welche im Fall des Dentins von den Odontoblasten, im Fall des Schmelzes von den Ameloblasten sezerniert werden. Neben einem unterschiedlich hohen Gehalt an organischer Substanz und der Fähigkeit der Odontoblasten, Odontoblastenfortsätze zurückzulassen und so Dentinkanäle auszubilden, unterscheiden sich beide Gewebe ganz charakteristisch durch die Größe der Apatitkristalle, die von ihren organischen Grundsubstanzen eingelagert werden können. Die Schmelzkristallite sind um ein Vielfaches größer als die Dentinkristalle.

Danach läßt sich die von W. J. SCHMIDT aufgestellte Theorie, es handle sich bei der fraglichen Hartschicht der Haifischzähne um eine Art modifizierten Dentins (er nennt es Vitrodentin, bzw. Durodentin), das sich durch den fermentativen Abbau in der Frühentwicklung des Zahnes angelegten Kollagens sowie starke Verkalkung auszeichne, nicht halten.

SCHMIDT gelangte zu diesen Erkenntnissen aufgrund seiner polarisationsoptischen Untersuchungen, also auf dem Wege der Lichtmikroskopie. Diese ermöglichten ihm über der üblichen Dentinstruktur eine "dünne, von Zahnbeinröhrchen freie Schicht" zu erkennen, die er als Glanzschicht, oder wegen ihrer Durchsichtigkeit auch als Vitrodentin bezeichnete. Elektronenmikroskopisch läßt sich zeigen, daß dieser lichtmikroskopische Effekt (glasartig) durch die vorwiegend parallele Ausrichtung von typischen Schmelzkristallen hervorgerufen wird (HELMCKE).

SCHMIDT hatte somit nur ein Summationsbild zur Verfügung, dessen Erscheinungen mit Hilfe der Elektronenmikroskopie (Erforschung der Ultrastruktur) heute anders interpretiert werden können.

Nun mag es als abnorm erscheinen, daß die hier als Schmelz bezeichnete Substanz keine Prismen aufweist, d. h. die einzelnen Apatitkristalle nicht in charakteristischer Schmelzprismenform angeordnet sind, wie es z. B. beim menschlichen Schmelz der Fall ist. Um dies zu verstehen, muß auf die embryonale Zahnkeimentwicklung am Beispiel des Menschen zurückgegriffen werden.

Ab einem bestimmten Entwicklungsstadium differenziert sich die Hertwig'sche Epithelscheide in inneres und äußeres Schmelzepithel. Der zwischen beidem entstehende Raum wird von der Schmelzpulpa eingenommen. Aus dem inneren Schmelzepithel differenzieren sich die Ameloblasten, die im folgenden eine organische Grundsubstanz (Matrix) produzieren und extrazellulär ablagern. Diese mineralisiert bereits im

status nascendi und wirkt dabei epitaktisch auf die Einlagerung charakteristisch großer Hydroxylapatitkristalle. Erst mit zunehmender Entfernung von der Schmelz-Dentin-Grenze lassen sich prismenartige Schmelzorientierungen erkennen, d. h. dieser Orientierungszustand liegt nicht unmittelbar vom Grenzbereich an vor. Dies läßt sich am menschlichen Schmelz daran erkennen, daß die zu Anfang gebildete Substanz im Bereich von einigen μ m Dicke noch prismenfrei ist. Die Prismen stellen demnach eine sekundäre Struktur dar (LENZ), die durch die Ausrichtung der Kristallitenbündel zustande kommt. Prismen können erst dann vorliegen, wenn die Ameloblasten genügend Raum innerhalb der Schmelzpulpa vorfinden, um sich von der Schmelz-Dentin-Grenze entfernen zu können.

Es ist nun zu vermuten, daß genau dies Letztere beim Haifisch nicht der Fall ist. Inneres und äußeres Schmelzepithel sind zwar getrennt, aber nicht weit genug voneinander entfernt, so daß lediglich eine räumlich flache Schmelzpulpa besteht. Die Folge ist eine nur geringe Ameloblastenausdifferenzierung aus dem inneren Schmelzepithel, d. h. die Ameloblasten bilden sich nicht zu langgestreckten Zellen aus. Sie sezernieren zwar eine Grundsubstanz, die in der Lage ist, große Kristallite einzulagern, dies geschieht aber nicht in der Orientierung, daß Prismen zu erkennen sind, da dazu der Raum fehlt.

Somit kann der Haizahnschmelz als quasi primär strukturierter Schmelz bezeichnet werden, der noch keine Prismen Ausbildung aufweist, aber eine Verflechtung seiner Kristallite. Es gilt also, hier zu erkennen, daß der Haifisch im Vergleich zu höheren Wirbeltieren keineswegs eine vom klassischen Schmelzbegriff gänzlich abweichende Form der äußeren Hartsubstanzschicht aufweist, wie das vielfach behauptet wurde. Vielmehr liegt dem Wirbeltierschmelz ab einer gewissen Organisationsstufe und Größe der Individuen ein generelles Bauprinzip zugrunde, nämlich das der Zusammensetzung aus Apatitkristallen charakteristischer Größe mit

nur einem geringen Anteil an organischer Substanz im mineralisierten Hartgewebe (ca. 2-4%).

Die beim Haifisch in beschriebener Weise verflochtenen Kristallitenscharen stellen genauso ein Strukturprinzip wahren Schmelzes dar, wie es die Prismen im menschlichen Schmelz tun und verdienen deswegen nicht minder, dieser Hartsubstanz zugeordnet zu werden.

Die erwähnte Kristallitenverflechtung tritt wie oben beschrieben besonders deutlich dicht unter der Zahnoberfläche auf, wie aus den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen zu ersehen ist. Die tieferen Anteile der äußeren Hartsubstanzschicht sind in Bezug auf die Kristallitenorientierung weniger geordnet. Zur Klärung dieses Umstandes scheinen zwei Aspekte bedeutungsvoll. Zum einen muß bedacht werden, daß durch die schmale (flache) Schmelzpulpa nur ein kleiner Raum zur Verfügung steht, was dazu führen könnte, daß ein Teil der oberflächennah vorliegenden Kristallite nicht senkrecht zur Zahnaußenfläche, sondern in, in zentrifugaler Richtung weniger Raum beanspruchender, oberflächenparalleler Orientierung eingelagert wird.

Weiterhin ist eine funktionelle Ursache zu vermuten. Eine Verflechtung der Kristallite führt zu einem Zustand größerer Härte, was den funktionellen Beanspruchungen der Zähne besonders an der Oberfläche entgegenkommt. Vergleichbares wird z. B. bei den Nagetieren beobachtet. Eine diesbezügliche Entwicklung ist freilich nur im Evolutionszusammenhang zu sehen und nicht im Rahmen kurzfristiger Umbauprozesse.

Nach dieser Darlegung der Verhältnisse speziell beim Haifisch ist es nötig die Frage der Natur und Zusammensetzung der oberflächlichen Zahnkronenbedeckung auch im Zusammenhang mit anderen Fischzähnen zu sehen. Wie vergleichbare Untersuchungen an den Zähnen kleinerer Fische gezeigt haben, lassen sich die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erkenntnisse nicht auf die Fische generell übertragen,

d. h. nicht jeder Fisch verfügt über Zahnschmelz. So zeigte KÜSTER am Beispiel der Regenbogenforelle, daß deren Zahnhartsubstanzschicht ausschließlich aus Dentin besteht und das makroskopisch schmelzähnliche Aussehen auf eine senkrecht zur Zahnoberfläche verlaufende Ausrichtung oberflächennaher, dicht gepackter Dentinkristalle zurückzuführen ist.

Damit erhebt sich die Frage, wie es innerhalb der Art der Fische zu einem solchen Unterschied (Ausbildung von Schmelz bei den Haifisch- aber nicht bei den Forellenzähnen) kommen kann. Eine Antwort darauf ist, wie schon bei der Erklärung der Prismenfreiheit des Haifischschmelzes, durch Betrachtung der embryonalen Zahnkeimentwicklung möglich. Wie beschrieben trennen sich beim Haifisch inneres und äußeres Schmelzepithel, was eine Schmelzpulpa entstehen läßt und die Ausdifferenzierung von Ameloblasten. Da sich diese Epitheltrennung nur in geringem Maße vollzieht, resultiert aus oben beschriebenen Gründen letztlich eine Schmelzform ohne Prismen.

Bei der Forelle kommt es anscheinend überhaupt nicht zur Aufteilung in inneres und äußeres Schmelzepithel, was gleichbedeutend ist mit der Unmöglichkeit der Schmelzausbildung und der ausschließlichen Bildung von Dentin (vgl. BRUNN-HERTWIG'sche Epithelscheide im Wurzelbereich menschlicher Zähne (KÜSTER)).

Hierbei wird deutlich, daß es nicht statthaft ist, alle Fischzähne einer identischen Organogenese zuzuordnen.

Daß die von W. J. SCHMIDT aufgestellte These, den Fischen fehle durchweg echter Schmelz, zumindest für die Haifischzähne nicht zutreffend ist, hat die vorliegende Untersuchung deutlich gezeigt. Dabei bestätigen die gewonnenen rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen durchaus die polarisationsoptischen Befunde SCHMIDT's von der Existenz oberflächenparalleler Kristallite. Sie zeigen aber weiterhin, daß die oberflächenparallelen Anteile nur eine Komponente eines dreidimensionalen Kristallitenaufbaues sind,

was SCHMIDT's Bild nicht nur beträchtlich erweitert, sondern die eindeutige Zuordnung dieser Hartschmelz zum Schmelz statthaft erscheinen läßt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde die ultrastrukturelle Zusammensetzung der äußeren Hartschicht der Haifischzähne am Beispiel des Blauhaies untersucht mit dem Ziel, einen Beitrag zur eindeutigen Zuordnung dieses Gewebes zu Schmelz oder Dentin zu leisten.

Dieses Problem war bereits über längere Zeit (ca. 100 Jahre) Gegenstand zahlreicher Forschungen, bei denen neben dem eindeutigen Dentin- oder Schmelzcharakter des Gewebes auch der Begriff Enameloid (schmelzähnliche Substanz) diskutiert wurde. Da aber alle diese Untersuchungen bis vor einigen Jahren nur mit lichtmikroskopischen oder röntgenstrukturanalytischen Mitteln möglich waren, bot sich hier eine vorwiegend elektronenmikroskopische Betrachtung (REM, TEM) an, die es erlaubte, die Ultrastruktur der Gewebe zu erfassen.

Hierbei zeigte sich, daß das untersuchte Material von Blauhaizähnen charakteristisch große Apatitkristalle aufwies, die zahnoberflächennah in Bündeln angeordnet waren, die einander dreidimensional durchdrangen, bzw. einen parkettmusterartigen Eindruck ergaben.

Die Kristallite zeigten größen- und strukturmäßig deutliche Unterschiede zu den wesentlich kleineren und in "gewellten Büscheln" angeordneten Dentinkristallen derselben Präparate. Dadurch war eine klare Abgrenzung der äußeren Zahnbedeckung dem Dentin gegenüber sowie ihre eindeutige Zuordnung zum Schmelz möglich.

Da die hier vorliegende Schmelzform prismenfrei ist, die Schmelzprismen, wie sie beim Menschen gefunden werden, aber erst als eine sekundäre Ordnungsform in der Schmelzgenese anzusehen sind, ist der Schmelz der Haifischzähne als ein primär strukturierter Schmelz mit den charakteristischen generellen Schmelzmerkmalen anzusehen.

Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf alle Fischarten verbietet sich, da vergleichbare Untersuchungen der Zähne

kleinerer Fische deren eindeutige und ausschließliche Dentinzusammensetzung auch in der äußeren Hartschicht erwiesen haben.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Daculsi, G. Ultrastructural study and comparative
Kerebel, L. M. analysis of fluoride
content of enameloid in sea-water and
fresh-water sharks
Arch. Oral Biol., 25 (3) 145-51, 1980
- Fearnhead, R. W. Matrix-mineral relationships in enamel
tissues
J. Dent. Res. 58(B), 909-916, 1979
- Fosse, G. Mineral distribution and mineralization
Risnes, S. pattern in the enameloid of certain
Holmbakken, N. elasmobranchs
Arch. Oral Biol., 19, 771-780, 1974
- Grady, J. E. Tooth development in sharks
Arch. Oral Biol., Vol 15, pp 613-619,
1970
- Helmcke, J.-G. Ergebnisse und Probleme aus der verglei-
chenden Anatomie der Wirbeltierzähne
Sonderdruck aus "Studium Generale"
Jahrg. 18, Heft 1, 1965, S. 50-65,
Springer Verlag
- Herold, R. C. B. Scanning electron microscopy of ename-
loid and dentin in fish teeth
Arch. Oral Biol., 20(10), 635-40, 1975
- Kemp, N. E. Ultrastructure of the enamel layer in
Park, J. H. developing teeth of the shark *Carcharhi-
nus Menisorrhah*
Arch. Oral Biol., 19(8), 633-644, 1974

- Küster, P. Elektronenmikroskopische Untersuchungen
an Zähnen von *Salmo Gairdneri* (Regenbo-
genforelle), einem Teleostier (Knochen-
fisch). Ein Beitrag zur Dentinbildung
(Inaug. Diss. Med. Dent., Fak. FU Berlin
1982)
- Moss, M. L. Enamel and bone in shark teeth: with a
note on fibrous enamel in fishes
Acta Anat., 77, 161-187, 1970
- Ripa, L. W.
Gwinnet, A. J. Microstructural and microradiographic
qualities of lemon shark enameloid
Guzman, C. *Arch. Oral Biol.*, 17, 165-173, 1972
Legler, D.
- Risnes, S.
Fosse, G. Serially etched shark enameloid observed
by incident light microscopy
Acta Anat. (Basel), 105(1) 1-8, 1979
- Schmidt, W. J. Über Bau und Entwicklung der Zähne des
Knochenfisches *Anarrhichas Lupus L.* und
ihren Befall mit "*Mycelites Ossifragus*".
Zeitschrift für Zellforschung, 40, 25-
48, 1954
- Schmidt, W. J.
Keil, A. Die gesunden und die erkrankten Zahnge-
webe des Menschen und der Wirbeltiere im
Polarisationsmikroskop
Carl Hanser Verlag, München, 1958
- de Terra, P. Vergleichende Anatomie des menschlichen
Gebisses und der Zähne der Vertebraten
Verlag von Gustav Fischer, Jena, 1911

- Kvam, T. Comparative study of the ontogenetic and phylogenetic development of dental enamel
Supplement to Den Norske Tannlaege forenings, Tidende Volume 56, Oslo, 1946
- Kvam, T. The development of mesodermal enamel on piscine teeth
Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab, Trondheim, 1950
- Kvam, T. The phylogenetic transition from mesodermal to ectodermal enamel
Det Kongelige Norske Videnskabers Selskabs, Forhandlingar, Bind 26, 1953, Nr. 19

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. Hans Lenz ganz herzlich für die Überlassung des Dissertationsthemas und für seine freundliche und stete Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der vorliegenden Arbeit danken.

Ebenso gilt mein Dank Frau Jutta Butzengeiger, Frau Anne-dore Kähler und Frau Birgit Scheidereiter für ihre große Hilfe bei den elektronenmikroskopischen und fototechnischen Arbeiten.

LEBENS LAUF

Am 6. April 1961 wurde ich als Sohn des Dipl.-Ingenieurs Claus Ludwig und seiner Ehefrau Elsa Ludwig, geb. Siemer, in Köln geboren.

Im Anschluß an die sechsjährige Grundschulzeit, die ich in Köln, Düsseldorf und Berlin verbrachte, besuchte ich ab 1973 die Wald-Oberschule (Gymnasium) in Berlin-Charlottenburg und legte dort am 26. Juni 1979 die Reifeprüfung ab.

Zum Wintersemester 79/80 wurde ich an der Freien Universität Berlin im Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde immatrikuliert.

Die Approbation als Zahnarzt erhielt ich am 13. März 1985.

Seit dem 1. April 1985 bin ich als Assistenzzahnarzt in Berlin-Zehlendorf tätig.

